



Douglas R. Laing, Fisiólogo

INTRODUCCION



El propósito de esta conferencia es dar a los estudiantes en el curso de producción de frijol un conocimiento del crecimiento y desarrollo de Phaseolus vulgaris al ser medido bajo condiciones del trópico. Este informe está dividido en cuatro partes, las cuales mostrarán aspectos de importancia fisiológica. El último informe de esta serie, presenta algunas implicaciones de este trabajo relacionados con un programa de mejoramiento. Finalmente, la investigación fisiológica solo puede ser valiosa si los principios son aplicados en un programa avanzado de mejoramiento.

El crecimiento es definido como el aumento del tejido de la planta al ser medido por el peso aumentado de las partes de la planta o área foliar. El desarrollo es definido como el proceso de diferenciación que a la postre convierte la planta de una etapa vegetativa a reproductiva. En este informe, se describirán el crecimiento y desarrollo de cuatro genotipos de Phaseolus vulgaris. Las variedades son representativas de los cuatro hábitos de crecimiento, los cuales han sido definidos dentro del banco de germoplasma de CIAT. Los hábitos de crecimiento son los siguientes:

- I Arbustivo determinado
- II Arbustivo erecto indeterminado
- III Arbustivo postrado indeterminado
- IV Frijol trepador indeterminado

Los experimentos descritos fueron conducidos bajo condiciones de irrigación y fertilización en CIAT en 1975 y 1976. La investigación fue parte de un programa general de investigación en fisiología de frijol.

Experimental

Las variedades utilizadas en los experimentos fueron

- P788 - Swedish Brown (Suecia, I)
- P566 - Porrillo Sintetico (Honduras, II)
- P498 - Puebla 152 (Mexico, III)
- P589 - PI 313-624 (Colombia, IV)

El número P se refiere al número de la variedad promissoria de CIAT. Las fuentes dadas son las de la semilla en CIAT y no necesariamente se refieren al país primario de origen.

Los cultivos fueron sembrados en un sistema de camas de 1m con dos surcos por cama con espacios entre surcos de 65cm 35cm 65cm. La población de plantas después del raleo fue de 30 plantas/m². En el caso de la variedad trepadora de tipo IV el cultivo fue sembrado en un enrejado de alambre y cuerda de 2m de altura y 1m de ancho. Los experimentos fueron fertilizados con 200 kg/ha de 15 15 15, fertilizante comercial, y microelementos (Zn, Mg, S, Fe, B). Los análisis de crecimiento fueron determinados en áreas de cosecha de 1 m² tomados una vez por semana a través del ciclo vegetativo. Siempre se utilizaron cuatro repeticiones. Se hicieron observaciones de abscisión de flores y formación de vainas en plantas seleccionadas con una copa normal. Los cultivos fueron cosechados al momento de madurez y se determinó el rendimiento y componentes de rendimiento. Generalmente se cosechó a 10 m² de la parcela por rendimiento final y 1 m² para componentes de rendimiento final, vainas/m², y peso promedio de frijol (mg/frijol).

CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Rendimiento y Estructura de Rendimiento

En la Tabla 1 se muestran los resultados de un experimento conducido en 1976A. La tabla muestra rendimientos que fluctúan entre 2.65 ton/ha y 4.54 ton/ha. Este es el rango normal de rendimiento para los experimentos de CIAT. El rendimiento más bajo de P566 (Porrillo Sintético) comparado con P788 no es una situación normal ya que en la mayoría de los experimentos P566 sobresale en rendimiento a la mayoría de las variedades de tipo I. El rendimiento de P788 es excelente en este ensayo ilustrando el potencial eficiente de rendimiento de variedades determinadas para el corto período de crecimiento que ellas tienen. El rendimiento en $g/m^2/día$ es bastante alto en esta variedad de tipo I y es más alto que las otras dos variedades arbustivas indeterminadas. P498, tipo III, tuvo un rendimiento de 3 ton/ha en 90 días a partir de la siembra, pero este rendimiento fue alcanzado debido a una tasa más baja por día. Por lo tanto, para las variedades de tipo III el alto rendimiento estuvo asociado con un período más largo de crecimiento con un máximo índice de área foliar más alto. Por consiguiente, un ciclo vegetativo resulta en un área foliar más alto o fuente de fotosintatos, los cuales a su vez permiten un potencial de rendimiento más alto.

El alto rendimiento de 4.54 ton/ha del frijol trepador (P589) en enrejados es un resultado común bajo condiciones de monocultivo en CIAT. El rendimiento fue alcanzado a un nivel alto de eficiencia por día ($4.73 g/m^2/día$) y esto a su vez parece estar asociado con un índice de área foliar muy alto de $6.7 m^2/m^2$. El índice de cosecha fue más alto sugiriendo que el cultivo fue eficiente al convertir la producción total de materia seca en ren

Tabla 1 Comparación de cuatro variedades de P vulgaris utilizadas en estudios de análisis de crecimiento 1976A

Variedad	P788	P566	P498	P589
Habito Crecimiento	I	II	III	IV
¹ Rendim frijol g/m ² (ton/ha 14%)	2 85	2 65	3 05	4 54
² Rendim frijol g/m ² (neso seco)	262	282	296	393
Vainas/m ²	311	255	294	315
Granos/vaina	2 65	2 97	4 07	6.22
Peso grano, mg/frijol	317	186	247	200
Porcentaje rendimiento ramas	76	16	80	5
³ Dias a floración	31	39	40	47
³ Dias madurez fisiológica	77	82	90	96
⁴ Rendimiento frijol/día, g/día	3 70	3 23	3 39	4 73
⁵ Total materia seca (g/m ²)	454	494	475	583
Indice cosecha %	57 8	57 5	62 5	67 4
⁶ Porcentaje absición, vainas 3cm	65	52	59	55
⁶ Porcentaje absición, vainas 3cm	10	17	17	18
⁶ Porcentaje absición total	75	69	76	73

¹ Rendimiento de 10 m² area de muestra para rendimiento

² Rendimiento de submuestra (1 m²) utilizada para perfil de rendimiento en la Figura 10

³ Dias de siembra

⁴ Siembra a madurez fisiológica

⁵ Menos hojas y peciolo a la madurez

⁶ Porcentaje de flores totales/m²

dimiento económico La copa del tipo IV fue muy alta (2m) y la penetración de la luz es excelente bajo esas condiciones

El rendimiento de las cuatro variedades está adherido a la planta de una forma diferente dependiendo del hábito de crecimiento Los perfiles de rendimiento por nudo de tallo principal en base a metros cuadrados se muestran en la Figura 1 La variedad I tiene solo 7 nudos en el tallo principal y un alto rendimiento en ramas (75% del total) La variedad de tipo II tiene un número máximo de nudos de 16 con el rendimiento principal adherido a los nudos 5-10 Esta variedad tiene ramas pequeñas (16% del rendimiento) colocadas cerca al tallo principal y las ramas en los nudos inferiores (3-5) El rendimiento es más alto que el tipo I ya que esta variedad continúa produciendo nudos en el tallo principal después de floración (10 nudos a la floración, 16 nudos al máximo número de nudos). La variedad de tipo III es en contraste un tipo de planta que posee ramas postradas grandes en los nudos inferiores (3-6) Esta variedad contiene el 80% de su rendimiento en las ramas en contraste a P566 (II). El tallo principal es más largo y tiene en promedio 22 nudos, sin embargo, los nudos de la parte superior tienen pocas vainas La variedad de tipo IV P589 muestra un hábito de crecimiento completamente diferente con 30 nudos en el tallo principal (a tiempo de cosecha) con muy poco rendimiento en los nudos inferiores (2-12) y solo el 4% de su rendimiento total en las ramas inferiores Normalmente, hay poca emisión de ramas en las variedades de tipo IV cuando son sembradas a densidades de planta razonables (200×10^3 /ha).

Las variedades seleccionadas son razonablemente representativas de las otras variedades en el mismo hábito de crecimiento Variación dentro del hábito de crecimiento existe para emisión de ramas particularmente en los tipos I y II El porcentaje de rendimiento en las ramas es una buena indicación del rendimiento.

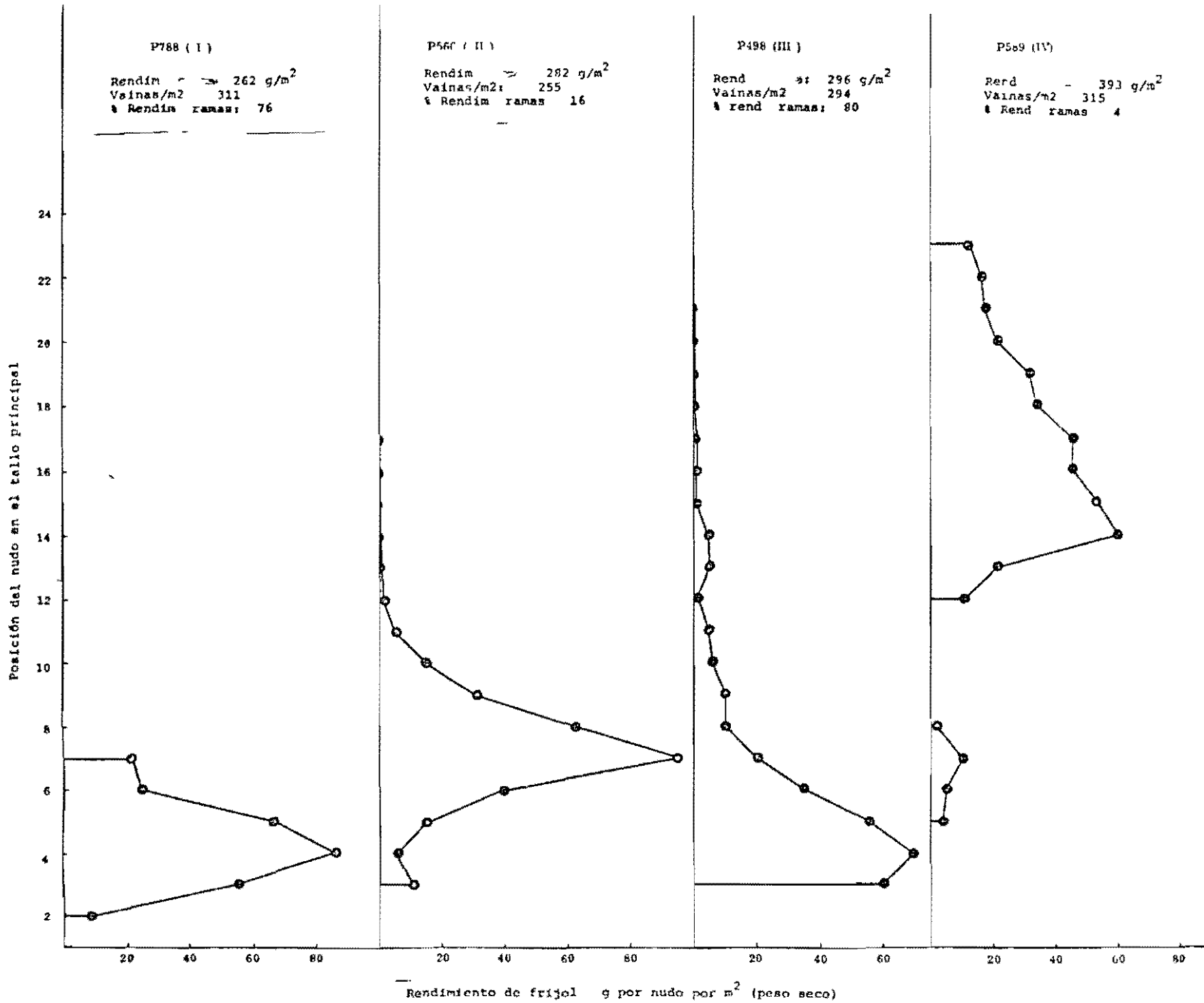


Figura 1 Perfiles de rendimiento por posición de nudo (incluyendo ramas) para 4 variedades en experimentos de análisis de crecimiento en 1976A

DESARROLLO DEL AREA FOLIAR

El desarrollo del area foliar de las cuatro variedades se observa en la Figura 2. Los datos muestran un area foliar verde muy alto para P589 ($67 \text{ m}^2/\text{m}^2$) Las variedades arbustivas tienen valores maximos diferentes pero las variedades tardías muestran una cuspide más tardía y una tasa de declive muy similar despues de que se ha alcanzado el area foliar maximo La caída rapida en area foliar coincide con el aumento rapido de peso de grano Las vainas en desarrollo atraen todo el material del resto de la planta causando una senescencia en las hojas. Si las vainas son removidas de una planta las hojas permanecen verdes durante un periodo más largo antes de envejecer finalmente El alto rendimiento del tipo IV y hasta cierto punto del tipo III está asociado con la más larga duración del area foliar

APARICION DE HOJAS

La frecuencia de aparición de hojas en el tallo principal es una buena indicación del desarrollo de las plantas Los datos en la Figura 3 muestran la aparición de hojas (día del despliegue de las hojas) para las cuatro variedades mencionadas anteriormente El tipo I detiene el desarrollo de la hoja en el tallo principal en el nudo 8 aproximadamente 25 dias despues de la emergencia de la planta Todos los indeterminados continuan produciendo nudos y hojas en el tallo principal despues de floración. Los indices de producción de hojas (o producción de nudos) difieren P589 y P498 tienen un indice alto. P498 se separa del indice alto y sostenido por P589 de aprox, 32 dias despues de emergencia.

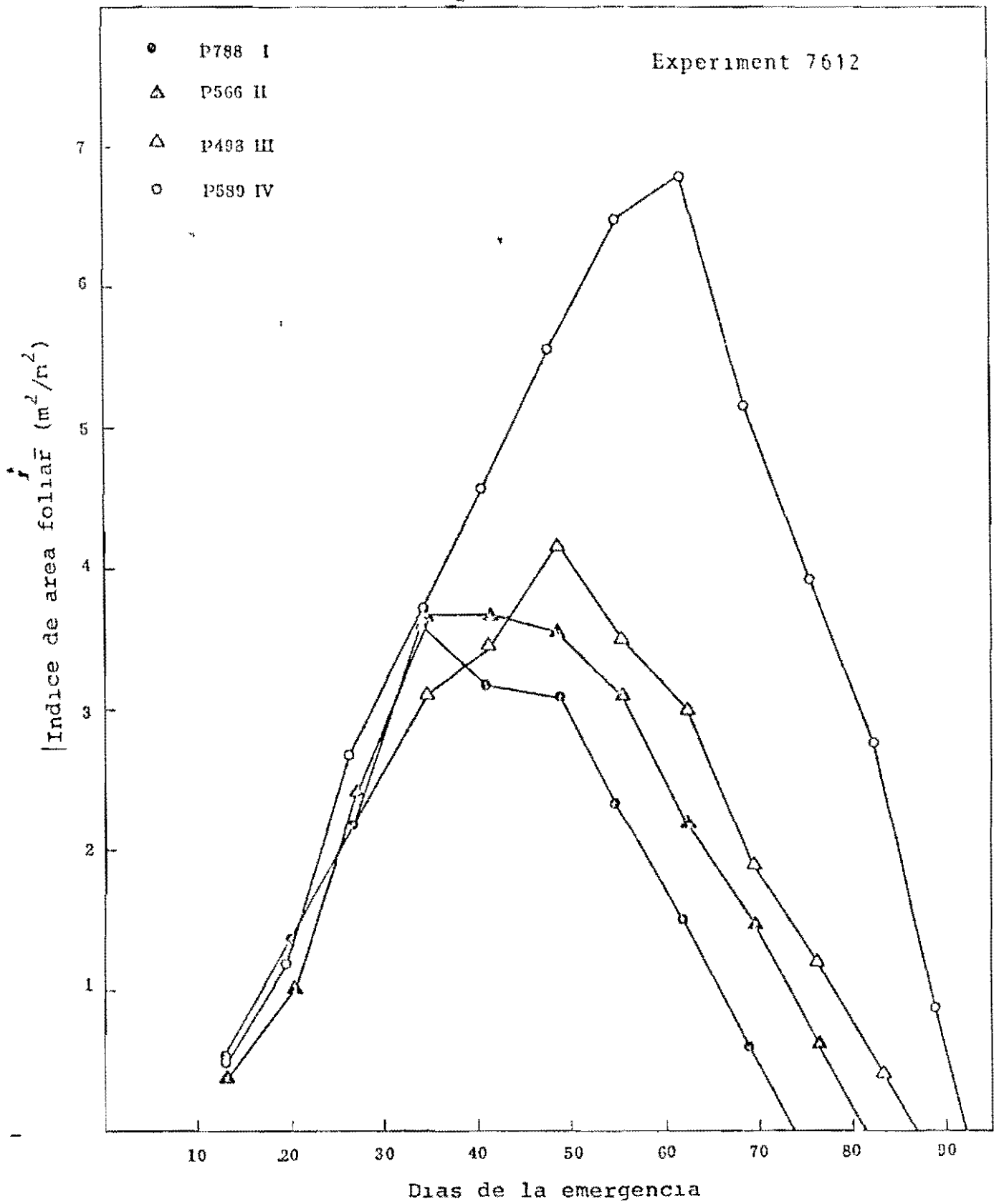


Figura 2 Indice de area foliar para 4 variedades contrastantes en un experimento de analisis de crecimiento en 1976A

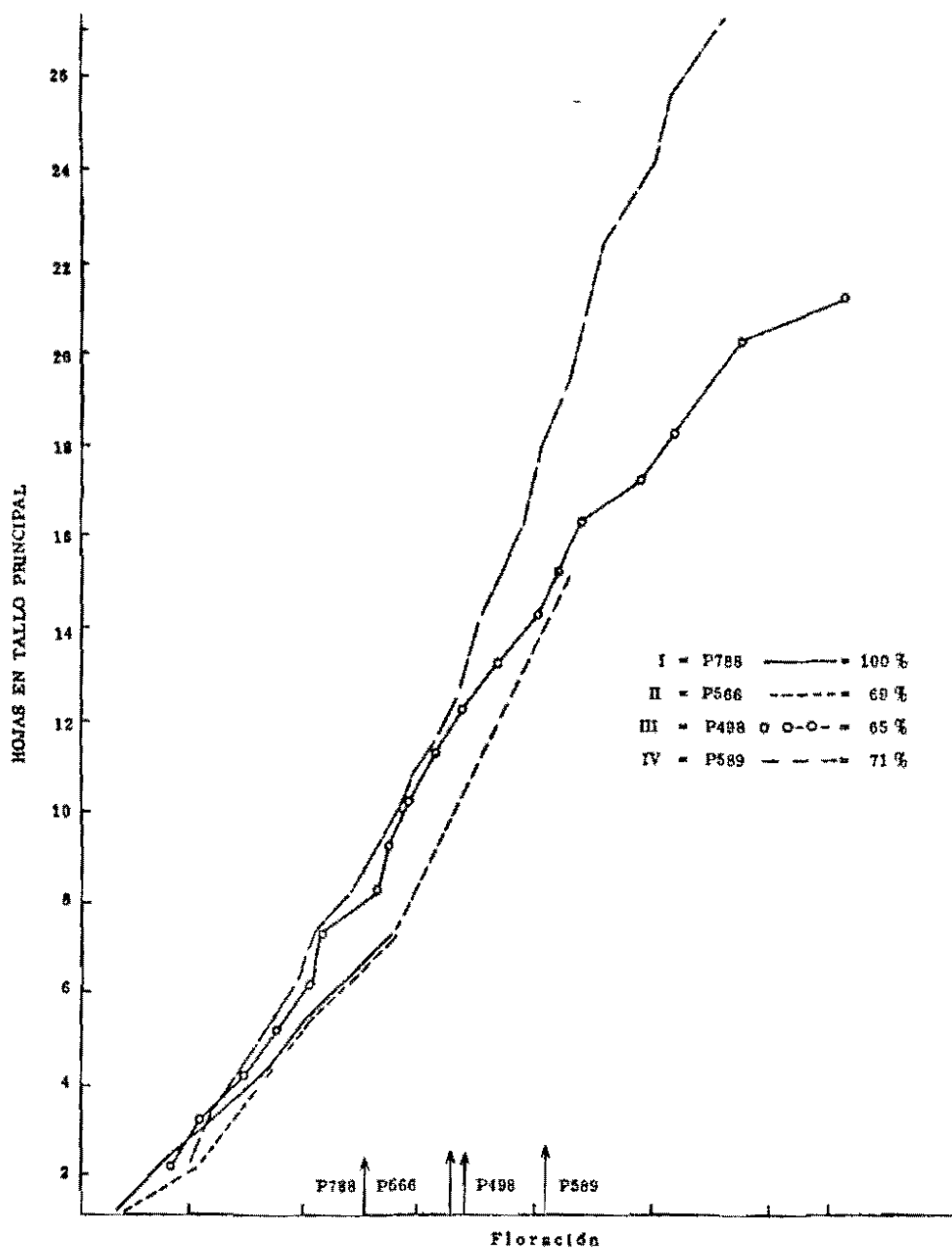


Fig. 3 Tasa de aparición de hojas en el tallo principal de cuatro variedades de Phascolus vulgaris.

PRODUCCION DE MATERIA SECA

Los índices de producción de materia seca o índices de crecimiento del cultivo (ICC) (g/m^2 area de tierra/día) se observan a continuación para el periodo lineal de crecimiento en cada variedad

P488	I	10 94	$\text{g}/\text{m}^2/\text{día}$	(ICC)
P566	II	11 15	"	"
P498	III	9.19	"	"
P589	IV	12 06	"	"

El periodo de crecimiento fue de 20 a 55 días en todas las variedades. P589 con un despliegue más eficiente de hojas e índice de area foliar más alto tuvo un índice de 31% más alto que la variedad más baja P498. Las otras dos fueron muy similares

CRECIMIENTO REPRODUCTIVO VS. VEGETATIVO

Las partes de la planta en cada cosecha fueron divididas en partes vegetativas (hojas, tallos, peciolos, ramas) y reproductivas (vainas y granos)- Se comparan dos variedades en la Figura 4 para los patrones relativos de crecimiento del organo vegetativo (COV) y crecimiento de organo reproductivo (COR) observados para P788 (I) y P589 (IV) El alto rendimiento del frijol es ilustrado por el COR mucho más alto en la parte tardía de la época en el trepador. El tipo I produjo 50% de COV después de floración (en las ramas) mientras que el tipo IV produjo solo el 36% Después del máximo COV en cada caso, el peso de los organos vegetativos disminuyó rápidamente al comenzar el crecimiento significativo del organo. La importancia de esta

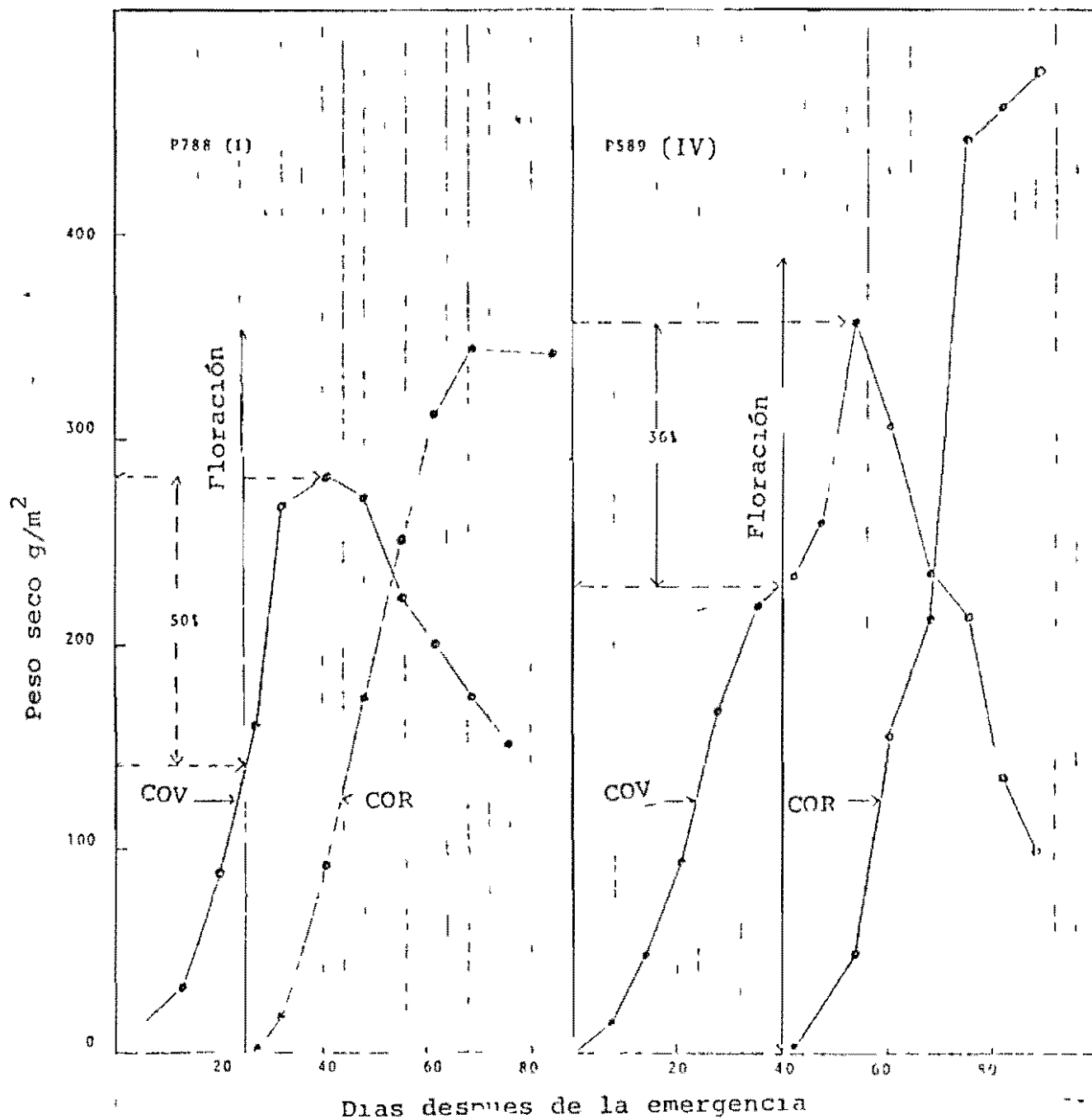


Figura 4 Crecimientos de organos vegetativos y reproductivos en dos variedades contrastantes en 1976A en experimentos de analisis de crecimiento

comparación es la demostración que a pesar que las variedades de tipo I no muestran mayor crecimiento en tamaño de tallo principal, hay un aumento significativo en materia seca en las ramas después de floración (observar rendimiento alto en las ramas del tipo I)

DESARROLLO FENOLOGICO

La etapa de floración (definida aquí como 50% de las plantas en una población que tienen por lo menos 1 flor/planta) tiene vital importancia en el crecimiento del frijol. La iniciación de flores ocurre antes, pero el mayor cambio en desarrollo ocurre cuando comienza la floración (flores abiertas). Los datos de la Tabla 1 muestran los periodos fenologicos comparativos para las cuatro variedades. Las variedades de tipo I generalmente florecen y maduran temprano en CIAT.

Los otros hábitos de crecimiento tienen más amplia variación en floración y madurez con tipos tempranos y tardios particularmente en los tipos II y III. El tipo IV generalmente es tardío aunque algunas variedades tempranas de tipo IV han sido identificadas en la colección. En este caso, sin embargo, el material es generalmente más tardío que la mayoría de los tipos arbustivos. Por esta razón una clasificación superficial para las condiciones de CIAT de temprano y tardío dentro de los hábitos de crecimiento sería la siguiente de acuerdo a días después de siembra a madurez fisiológica

Habito	Precoz	Media	Tardia
I	<60	60-70	>70 *
II	<70	70-85	>85
III	<70	70-85	>85
IV	<85	85-95	>95

* Días a madurez fisiológica del tiempo de siembra

Por lo tanto, P788 podría ser considerado como un tipo I tardío, P566 como un tipo II medio, P498 como un tipo III tardío y P589 como un tipo IV medio a tardío. La temperatura afecta en gran parte la duración de la época de crecimiento del frijol, y las temperaturas bajas retardan la duración del ciclo vegetativo. La respuesta al fotoperiodo de variedades también influye en la duración del ciclo vegetativo. Esto será discutido más adelante en esta serie de conferencias.

DESARROLLO DE LAS FLORES

Las observaciones de las flores fueron tomadas diariamente en plantas seleccionadas y se tomaron datos de la localización exacta y día de apertura de flores. La fecha de abscisión de flores o abscisión de vainas y la localización de vainas maduras a la cosecha también fueron anotadas. Después de corregir los datos para densidad de planta del experimento (30 plantas/m²), el patrón de abscisión de flores puede ser medido en base a una unidad de área de terreno. La Figura 5 muestra los periodos de floración comenzando en la primera apertura de flor para cada variedad en una base diaria. Todas las variedades muestran una gran abscisión (Tabla 1) de flores que se forman tarde en el periodo de floración. La duración del periodo de floración varía con cada variedad. El tipo I tiene típicamente un periodo corto de floración (13 días) con vainas producidas de flores que abrieron en los primeros ocho días del periodo de floración. P498 tiene el periodo más largo de floración con 28 días produciendo flores tardías en el crecimiento principal de ramas de esta variedad después del comienzo de la floración. El porcentaje de abscisión es relativamente similar en todas las variedades, con abscisión de flores aproximada de 75% ya sea como flores y vainas muy pequeñas o en algunos casos vainas más largas (>3cm en longitud).

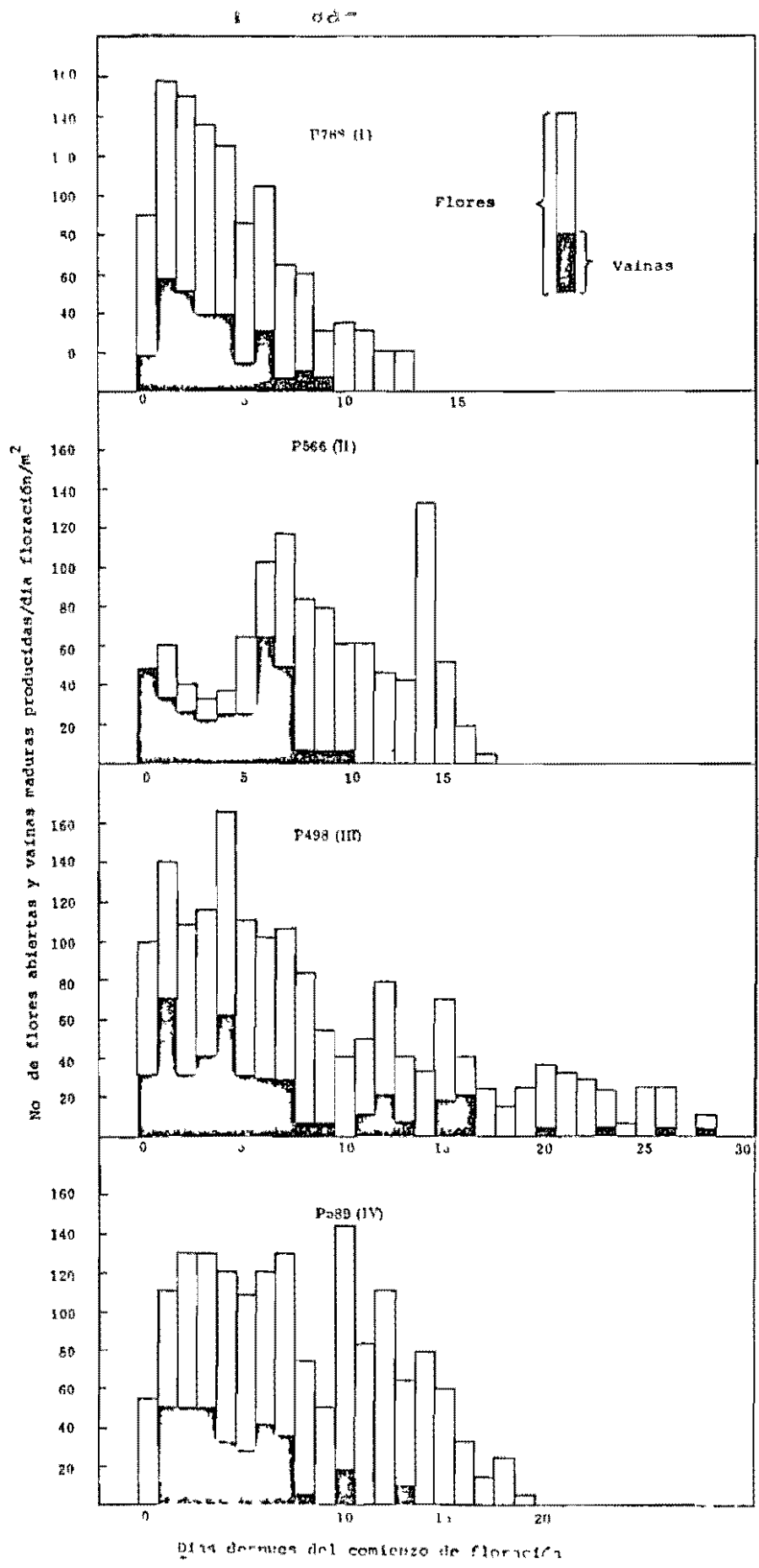


Figura 5. Producción/m² de flores y vainas, con respecto a días después del comienzo de floración en 4 variedades en un experimento de análisis de crecimiento en 1978.

El patrón de floración sugiere que el primer grupo de flores a abrirse generalmente produce vainas. Evidencia en otros experimentos sugiere que estas vainas influyen en la dirección en la cual el fotosintato disponible es transportado en la planta debido a la producción de sustancias endógenas de crecimiento por el tejido joven en desarrollo. Estas flores que abortan parecen hacerlo por una falta general de fotosintatos suficientes para mantener el potencial de vainas cargadas indicadas por el número de flores que abren. En otras palabras, la planta soporta tantas vainas como puede dependiendo de la disponibilidad de fotosintatos, siempre que se posea condiciones de buena irrigación. La abscisión de flores debido a sequía temporal es también un fenómeno muy común en frijol. Esta abscisión aumenta la tasa de abscisión comparada a frijoles sembrados bajo condiciones relativamente no limitantes de agua. El daño de insectos y condiciones adversas del suelo también pueden causar abscisión de flores.

DESARROLLO DE LA VAINA

Las vainas comienzan a crecer inmediatamente después de que los óvulos han sido fertilizados. En las primeras etapas, el crecimiento es bastante lento. La Figura 6 muestra el crecimiento de la vaina para una variedad, P566. Las vainas aumentan en longitud durante 10-12 días después de floración y luego se detienen. Aproximadamente a los 15 días se puede detectar peso de grano significativo en la vaina, mientras que se alcanza madurez fisiológica a los 33 días después de floración en esta variedad. La tasa de crecimiento de la vaina varía hasta cierto punto entre variedades. El contenido de humedad del frijol gradualmente decae a aproximadamente 50% a los 33 días y luego disminuye rápidamente cuando ha pasado la madurez fisiológica. La madurez fisiológica se define aquí como el tiempo cuando aumenta el peso del grano y no puede ser de-

Peso grano/vaina, peso pared vaina/vaina, peso organo reproductivo/vaina (g/vaina)

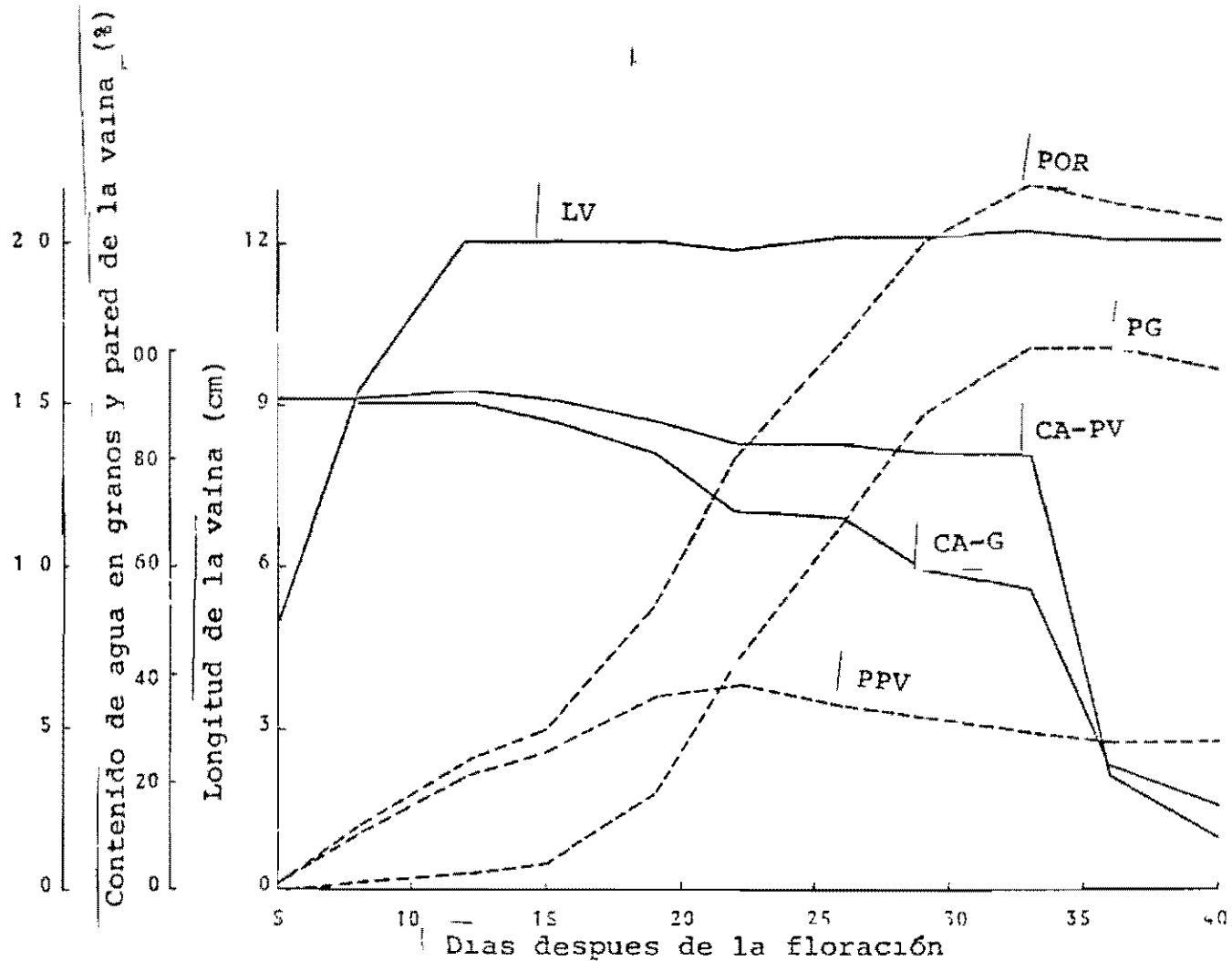


Figura 6 Longitud de la vaina (LV), peso grano/vaina (PG), peso pared de la vaina/vaina (PPV), peso organo reproductivo/vaina (POR) peso grano + peso pared vaina, contenido de agua (CA) de pared vaina (PV) y grano (G) a diferentes etapas de crecimiento despues de floración de la vaina en el 7o nudo del tallo principal en Porrillo Sintetico

teclado en la vaina Los datos arriba mencionados son para una vaina específica formada en el nudo 7 El período de pos-floración de todo el cultivo es un poco más largo, o sea 43 días en P566 ya que las vainas son producidas de flores que abren en un período de 10 días Las flores abren por primera vez en el nudo 6 Generalmente la última vaina que madura es producida de las flores que abren 10 días después del séptimo nudo para P566

LECTURA COMPLEMENTARIA

Evans, L T and I F Wardlaw 1976 Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals Advances in Agronomy 28 301-359

Donald, C.M and J Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Advances in Agronomy 28 361-405